Alan Turing, une vie de secrets

Vincent Fleury
Laboratoire GMCM
Université de Rennes1 Campus de Beaulieu
35042 Rennes

Plus large au foule notre audience, sur ce versant d'un âge sans déclin
St John Perse

INTRODUCTION

Alan Mathison Turing est devenu, ou devient peu à peu, une figure mythique de la science contemporaine. En quelques mots : mathématicien "génial", il démontra un théorème fameux relatif à l'impossibilité de prédire à l'avance l'arrêt d'un calcul effectué par une machine automatique[1], (théorème proche du théorème de Gödel). A l'occasion de cette démonstration, il formalisa le concept de calculabilité (ou d'algorithme au sens moderne) et décrivit, dix ans avant son existence pratique, la structure théorique de l'ordinateur. Il démontra dès les années 1930, qu'il existait, en théorie, des "machines universelles", capables de faire tout calcul procédant par opérations discrètes[2] [3]. Il mit en pratique ses idées théoriques, pour proposer la construction de machines programmables. Cette activité de mathématicien fut interrompue en partie par la guerre de 39-40. Pendant cette période, Alan

[1] Il s'agit du Entscheidungsproblem posé par le mathématicien David Hilbert: Existe-t-il une machine qui, connaissant un ensemble d'axiomes, et une conjecture, est capable de dire en un temps limité si cette conjecture est exacte ou fausse.
[2] Ces machines requièrent une table d'actions entrées/sorties travaillant sur des états discrets (en général des règles symboliques); et un système de mémorisation de symboles effaçable et réinscriptible, (comportant par exemple un ruban magnétique et une tête de lecture/écriture). Notez bien que ces idées ont précédé l'ordinateur de dix ans. Le théorème n'est valable que si le ruban et la durée du calcul sont de longueurs indéfinies. Une machine universelle est essentiellement une machine disposant d'un nombre fini d'opérations, mais qui peuvent être enchaînées par un programme de façon quelconque. Toute machine de Turing pouvant être réduite à une suite d'opérations symboliques, une machine de Turing programmable saura faire ce que fait tout autre machine, et sera donc "universelle".
[3] Les machines universelles sont capables de faire le calcul d'une autre machine, mais elle ne sont pas capables de prédire le résultat.

Turing devint le point focal de l'activité de décryptage des messages de l'armée allemande. Ces messages étaient codés depuis les années 1920 au moyen de la machine ENIGMA. Turing proposa plusieurs schémas de décryptage basés sur la connaissance de quelques mots, et une exploration automatique d'un grand nombre de cas, effectuée par des machines. Ces prototypes électromécaniques de machines affinèrent ses connaissances dans le domaine des relais, tubes etc., et lui permirent de comprendre en profondeur les possibilités concrètes de l'électrotechnique. Il proposa ainsi des schémas de construction, et contribua, après la guerre, à la réalisation effective des premiers ordinateurs.

Au début des années 1950, Alan Turing s'intéressa à la résolution d'équations différentielles, au moyen de ces premiers ordinateurs, enfin disponibles. Il fit la découverte de l'instabilité qui porte aujourd'hui son nom, par laquelle adviennent, ou peuvent advenir, des structures en biologie[4]. Il s'intéressait en particulier à la forme des marguerites. Il est ainsi considéré comme le fondateur de la morphogenèse théorique, sinon de toute la biologie mathématique (ou au moins de l'embryologie). Il appelait lui-même cette théorie l'embryologie mathématique.

Hélas. Alan Turing fut poursuivi en justice pour rapports homosexuels, à une époque où cette orientation sexuelle était illégale, dans une société anglaise encore très puritaine. Il fut condamné à subir des traitements aux hormones et écarté des centres militaires de décryptage dont il avait pourtant été le meilleur atout. Il se suicida le 1954, à l'âge de 42 ans, en consommant une pomme enduite de cyanure. Un dernier élément mérite d'être mentionné dans cette introduction filante : il était un grand sportif, coureur de marathon hors pair, et il faillit participer aux jeux olympiques.

LE SECRET

Le secret entre donc dans ce propos sous plusieurs aspects. Le décryptage des codes nazis constitue, *a posteriori*, la partie évidemment la plus saillante, ou en tout cas la plus romanesque de la vie de Turing. Quoi de plus secret, en effet, que la lutte à distance entre les Anglais et les nazis, notamment pour la maîtrise des mers? Ce secret, qui ne l'est pas resté, puisque l'histoire en est sans cesse contée, lui vaut, après coup, la jalousie admirative de tous les mathématiciens/lecteurs de romans policiers.

Le décryptage du code allemand s'est joué essentiellement en deux temps, et deux théâtres, mais toujours dans la même ombre. D'abord en Pologne, où d'astucieux

[4] Les taches de léopard ou de girafes sont l'exemple le plus cité d'instabilité de Turing, bien qu'il ne soit pas réellement démontré que ces taches apparaissent par un mécanisme de Turing.

mathématiciens polonais parvinrent à décrypter les premiers messages issus d'ENIGMA dès les années 1930, puis en Angleterre, lorsque les complications mises en oeuvre par les nazis rendirent la tâche insurmontable pour la petite équipe polonaise affectée à cette tâche ingrate.

Cependant d'autres secrets pointent à l'horizon, et d'envergure : le secret de la vie, rien de moins, qu'Alan Turing cherchait à percer à l'aide d'outils mathématiques aujourd'hui universellement utilisés en biologie mathématique. Le secret de la pensée humaine, sur lequel il écrivit des pages fameuses, souvent inspirées, telles l'article où il présente le test de Turing (*cf infra*). On contestera, évidemment, que Turing ait percé effectivement le secret de la pensée humaine, tant on est loin de l'avoir reproduite, mais néanmoins, il posa un canevas permettant, suivant certaines hypothèses, d'y parvenir. Nous montrerons plus loin ce qu'il y a de contestable dans ce canevas. Autour de ce canevas, il broda un certain nombre de pensées originales, qui, d'une façon presque auto-contradictoire démontrent la quasi impossibilité du projet. En effet, les textes de Turing relatifs à la machine à penser sont d'une telle finesse, et d'un tel humour (presque "frivoles", selon le mot de Andrew Hodges[1,2]) qu'ils placent la "barre" de la pensée humaine à un niveau très élevé, inaccessible à une machine avant très longtemps. On peut dire que l'exercice de pensée permettant de concevoir une machine pensante nécessite un tel envol d'imagination et d'humour, qu'il démontre presque par lui-même qu'aucune machine ne pensera jamais. Cette pensée touche au paradoxe de l'introspection : une machine pensante peut-elle comprendre la marche de sa propre pensée? Ou bien, pour mettre la question sous une forme gödelienne : existe-t-il une pensée qui échappe à toute pensée? Evidemment, on admettra ici que la pensée d'un homme (Turing) s'identifie en complexité à la pensée de chaque homme.

Mais la vie de Turing recèle encore d'autres secrets, liés en particulier à son orientation sexuelle. L'homosexualité de Turing constituait de fait, un secret, une seconde pensée. Replaçons-nous dans le contexte : Turing avait eu des opportunités de mariage, repoussées, et vivait secrètement son homosexualité dans le collège anglais de Cambridge, puis plus tard à Manchester, à l'occasion de rencontres fortuites. Les années 1950 virent l'émergence des premiers mouvements qu'on qualifierait aujourd'hui de "gays", dans les pays scandinaves, que Turing suivit avec intérêt. Au moment de son procès, Turing affronta avec autant d'humour que possible sa situation d'accusé, s'en ouvrant volontiers avec ses collaborateurs, et considérant la persécution qui lui était faite comme totalement absurde, ce qui paraît évident de nos jours. Néanmoins, il fut contraint de choisir entre des traitements hormonaux ou la prison; il choisit les injections d'hormones mais, peu après le procès, il se suicida. Il travaillait

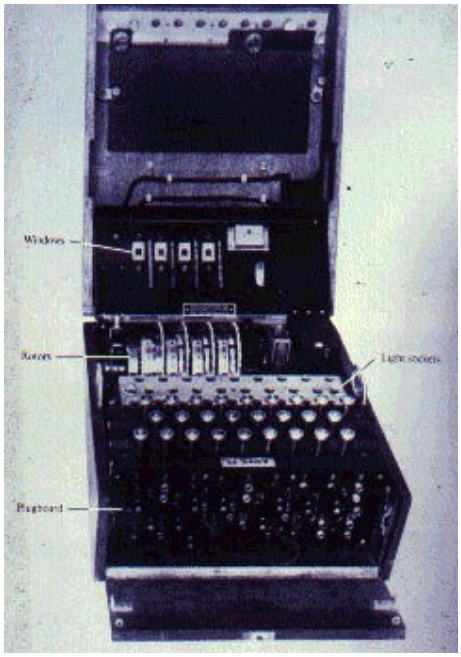
les jours mêmes-précédent son suicide à des travaux inédits à ce jour, relatifs aux spirales de Fibonacci (l'ordre spiral des coeurs de tournesols, pomme de pins etc.).

La vie et l'oeuvre de Turing constituent donc une exploration tout à la fois de la cryptographie, de la logique mathématique, des neurosciences, de l'intelligence artificielle, de la guerre de 40, de la biologie fondamentale, le tout pimenté d'un peu de gender studies.

Autant dire que la vie et l'oeuvre de Turing[1,2] explosent à peu près toute épure biographique ou épistémologique, nous y reviendrons. L'objet de ce numéro nous permet de pointer du doigt quelques ressorts du secret, tels qu'on peut les inférer de la place occupée aujourd'hui par Turing. L'objet de cet article est de montrer que les secrets de la vie de Turing se décantent, au coeur de ses admirateurs, en un secret unique : le secret de Turing lui-même. Le secret de l'homme-Turing pose la question et répond à la question : tous les hommes se valent-ils, qu'est-ce que je vaux, moi?

Pour ressentir le fil qui conduit d'une vie de secrets au secret de sa vie, et de notre vie à tous, il nous faut revenir sur quelques épisodes de la vie et de l'oeuvre de Turing, qui ne sont sans doute pas familiers à tous les lecteurs. Nous ferons ce retour en trois parties, l'une consacrée au décryptage d'ENIGMA, la seconde consacrée à la formalisation des machines "de Turing" et la perspective de la machine pensante, la troisième consacrée au test de Turing, et au lien avec son homosexualité.

ENIGMA



La machine ENIGMA

ENIGMA est le nom d'une machine qui fut utilisée pendant vingt ans par l'armée allemande nazie pour crypter ses communications. Environ vingt mille machines ENIGMA, disposant de diverses variantes, furent mises en circulation et affectées à diverses armes (amirauté, train, etc.). La machine de l'amirauté était la plus sophistiquée. Décrypter les messages secrets militaires était, on s'en doute de la plus grande nécessité, pendant la guerre. Mais c'était, déjà avant la guerre, une question de survie pour des états comme la Pologne. Dans le cas de la cryptographie, le secret à percer est celui du codage; dans le cas d'ENIGMA, ce codage était effectué avec un mélangeur à tambours, comme nous le verrons ci-dessous.

Le cryptage est une opération de permutation sur les lettres de l'alphabet, qui doit être réversible, et dont l'opération d'inversion doit être connue de la personne qui reçoit le message. En ce sens, le secret de la cryptographie est un secret dont on sait qu'il peut être percé, si l'on a en main le texte codé : l'algorithme de reconstitution du texte en clair existe à coup sûr, mais dans un espace de mélange de lettres qui peut être d'une complexité inouïe, compte tenu des lois statistiques[5].

[5] Il n'en va pas de même par exemple du "décryptage" du génome en génétique. Les termes "décryptage" du génome humain ou "alphabet génétique" sont un peu trompeurs, au sens où il n'existe aucune opération de "lecture" des lettres du génome permettant de comprendre la vie. Entre les lettres du génome et la vie opèrent plusieurs niveaux d'intermédiaires physiques et chimiques absents du génome lui-même.

Entre la fin des années 20 et 1943, les Allemands utilisèrent des formes de plus en plus raffinées de ENIGMA, qui sont décrites dans un livre récent rassemblant plusieurs études relatives à la vie de Turing[2], on peu consulter également des sites webs spécialisés, par exemple http://www.mikekemble.com/ww2/enigma.html. Le rôle éminent et discret des jeunes mathématiciens polonais, Rejewski, Zygalski et Rozycki est décrit dans [3,4], le rôle du jeune médiéviste Hinsley (22 ans) est raconté sur le site ci-dessus. La reconnaissance de ces contributions, et de beaucoup d'autres, modère l'élan vers l'olympe donné à Turing par sa posterité. La Pologne, pays fragile et menacé par le Reich nazi, avait très tôt compris qu'il fallait surveiller les communications des armées allemandes. Elle avait monté une équipe de très jeunes mathématiciens, recrutés sur deux critères : la connaissance de l'allemand, et des bons résultats en maths. Après un cours de cryptologie, les premiers à décrypter un authentique message allemand avaient été sélectionnés pour entrer dans le laboratoire secret de cryptologie de l'armée polonaise, à Poznan, puis pour former le "bureau du chiffre". Leur seul adversaire : ENIGMA.

ENIGMA (inventée vers 1918) permettait de crypter des messages avec des systèmes de roues codant l'alphabet suivant une mécanique de permutations et de transpositions rendant incompréhensible le message de départ (jusqu'à neuf niveaux de substitution de l'alphabet). La machine était réversible, en ce sens qu'elle permettait également de lire un message crypté : son mécanisme générait le correspondant crypté d'une lettre, mais à l'inverse, le même système donnait en clair la lettre correspondant à une lettre d'un message crypté.

La première machine, la plus simple, était pour l'essentiel composée de cylindres coaxiaux, semblables à des tambours de machines à sous, ou des compteurs kilométriques[6], ayant des contacts électriques sur leurs côtés (26 sur chaque côté du cylindre). Les 26 contacts de la face gauche et les 26 contacts de la face droite étaient "câblés" pour de bon, de sorte que, à 26 lettres écrites en rond à gauche correspondaient 26 sorties se suivant dans un autre ordre coté droit, mais disposées également en rond. En tournant les cylindres, on pouvait mettre en contact différentes lettres du premier cylindre (face droite), avec différentes lettres du second (face gauche). Et ainsi de suite, de proche en proche. Sur les tambours, les lettres étaient disposées sur un anneau qu'on pouvait lui-même tourner, le câblage interne "en hard" de chaque roue reliait donc les entrées à des sorties qui pouvaient être décalées en rotation, avant le mélange. Trois tambours pouvaient être choisis parmi cinq dans une boîte, de façon à

[6] Antérieurs aux tableaux de bords électroniques.

constituer la configuration de démarrage de la machine. Deux cylindres étaient fixes et inamovibles : le cylindre d'entrée des lettres et un cylindre de renversement. Ce dernier était câblé de façon à opérer une transposition (renversement de l'alphabet crypté parvenant sur ce tambour). Ainsi, en tournant et en mettant plusieurs cylindres en contact, un circuit électrique allait d'une lettre du premier cylindre vers une autre lettre, sur le second, puis à une autre sur le troisième etc., en passant à travers les cylindres codant et transposant, et ce, dans les deux sens. A l'arrivée, une lettre du cylindre initial, différente de la lettre de départ était obtenue, image de la lettre initiale à travers tout le circuit, cette lettre "codait" la lettre de départ au prix d'un nombre de substitutions défiant l'entendement. Une ampoule s'allumait automatiquement, en face de la lettre "cible" de la lettre devant être codée, par un simple effet de fermeture du circuit électrique.

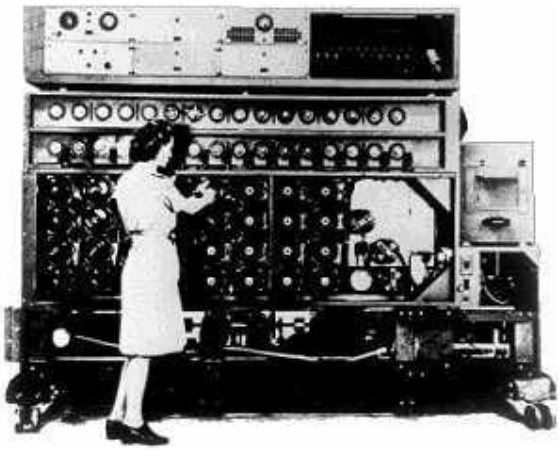
On ne peut pas ne pas donner le nom de l'inventeur d'ENIGMA: Arthur Scherbius. L'interface utilisateur était un clavier reliant les touches aux lettres du premier tambour, qui était fixe. Dans la machine commerciale de 1920, les lettres du premier tambour figuraient sur le tambour dans l'ordre du clavier : qwertzuiop. A chaque nouvelle lettre frappée au clavier, les cylindres tournaient d'1/26 ème de tour, pour constituer un nouveau circuit donnant le codage de la lettre suivante. Comme pour les compteurs kilométriques, un taquet faisait tourner le second cylindre après une rotation complète du premier, et le troisième, après une rotation complète du second (les messages devaient comporter moins de 26x26x26 lettres, au bout de quoi le système fournissait les mêmes circuits). Pour coder un message, on positionnait à la main les cylindres (qui étaient amovibles) dans une configuration initiale : n'importe quel ordre des tambours, de gauche à droite; n'importe quelle position en rotation. Comme les cylindres exhibaient des lettres sur leur contour, il suffisait de fixer une liste de lettres, pour connaître la clé de codage valable pour le codage de toutes les lettres. Ainsi, sur une machine à 3 cylindres, on pouvait positionner les trois cylindres de façon à voir sur le dessus AAA, ou bien toute autre combinaison de lettres : UCT, AVG etc. exactement comme on verrait 3 fruits sur les tambours de machines à sous. En changeant cette "clé", d'un type très particulier, on changeait automatiquement de codage. Le fonctionnement était simple, la substitution très complexe.

On l'imagine, cette machine posait des problèmes de combinatoire extrêmement ardus, dans lesquels les couples de lettres, ou les cycles de lettres jouaient un rôle important (par construction, la machine engendrait des cycles de lettres A est codé par B, B est codé par Z, Z est codé par U, U est codé par S, S est codé par A, qui avaient des propriétés mathématiques particulières, aucune lettre ne codait pour elle-même). Le nombre maximum de tables de

transposition était, vers 1942, de 10^{17} combinaisons. Des difficultés inouïes ont été surmontées par quelques jeunes mathématiciens brillants, dans ce qui fut le plus grand exercice de décryptage de l'histoire. Dans la configuration finale, la plus difficile, et qui fut crackée par Turing et ses collaborateurs, des paires de lettres pouvaient être codées, en outre l'amirauté allemande avaient introduit un système de fiches (comme les fiches des anciens standards téléphoniques) permettant de permuter 12 lettres de l'alphabet, avant de rentrer dans le premier cylindre.

Le crackage du code a requis une étude très approfondie des combinaisons de permutations, mais au final, il fallait toujours une étude systématique de cas, en très grand nombre. Ce décryptage a donc rendu nécessaire la fabrication d'appareils à explorer automatiquement des combinaisons. Explorer des combinaisons, c'est former un état de la machine, l'appliquer à un mot connu, et tester si la série de lettres obtenues apparaît dans le texte codé. Les "appareils à tester" étaient basés sur des machines ENIGMA travaillant en série. Dans les premières, il fallait tourner les tambours à la main. Puis, l'apparition de complications obligea les polonais à motoriser les tambours, de façon à produire "à toute vitesse" des configurations de codage. Le "mélange" de lettres fourni par chaque configuration étaient testé par comparaison avec le message intercepté par des opérateurs radio en supposant connu quelques mots du texte (EINS, par exemple). C'est dans ce secteur que l'électronique rentra en jeu : l'étape lente était la comparaison des résultats avec une partie du message intercepté. Dans la première machine, polonaise, il fallait deux heures, pour tester les 17567 combinaisons des 3 tambours. Cette étape était effectuée électro-mécaniquement (contacteurs à balais[7]). Dans la machine conçue par Turing, entre autres progrès, la coïncidence était obtenue plus rapidement, avec des relais[8].

[7] Comme on en voit encore sous les petites voitures de circuits électriques.
[8] La machine super Bombe dessinée par Turing utilisait 30 coeurs d'Enigmas motorisés en série de façon à tester des phrases clés d'une vingtaine de caractères.



La machine Bombe

Le point crucial, historiquement, est que, après que la machine de Turing (Bombe) eut montré ses mérites, une machine améliorée fut ensuite construite sous la direction d'un ingénieur des télécommunications, Thomas Flowers, qui utilisa la technologie purement électronique des tubes à vides (beaucoup plus rapides que les pièces électromécaniques)[9]. Cet appareil, Colossus, est le premier ordinateur électronique de l'histoire, il fonctionna pour la première fois en décembre 1943. Ces progrès, entre la machine tournée à la main, et la machine à tubes, ont contribué à familiariser des mathématiciens comme Alan Turing à l'électrotechnique, et donc, à leur donner les moyens de faire un ordinateur, après guerre.

Quantité de détails et d'anecdotes savoureuses, racontées par diverses sources, ramènent la guerre et l'espionnage, mais aussi les mathématiques, l'analyse combinatoire et la construction de machines sophistiquées à cette condition à laquelle nul ne saurait échapper, qui est la condition humaine. Pour décrypter les messages, il faut toujours un indice : un mot test, une phrase, quelque chose dont on sache qu'il est présent dans le texte crypté[10]. Les codes engendrés par les diverses machines ENIGMA purent être cassés grâce à de savants calculs statistiques sur la fréquence des lettres de l'alphabet, à de simples mais brillantes intuitions, ou à de triviales questions "d'intendance" : Rejewsky devina que les Allemands avaient changé le tambour qui était en qwertzuiop pour le remplacer par un tambour abcdefghi..., en invoquant leur sens culturel de l'ordre[3], il devina également que des séries de mots courts commençant par la même lettre étaient en fait des questions, or en Allemand, les questions commencent en

[9] Dans une tube à vide, le basculement 0/1 du contact est obtenu avec un faisceau d'électrons, ce basculement est beaucoup plus rapide que dans les relais, où une pièce mécanique tourne.
[10] Un crib, en anglais.

général par W (Wo, Wehr, Warum etc.), une station envoya le même message tous les soirs pendant plusieurs mois : "éteignez les lumières, comme ordonné". Les Polonais découvrirent également que les messages devaient faire une longueur fixée, de sorte que les messages étaient systématiquement complétés par XXXXXXX, information cruciale pour le décodage. De nombreux messages de l'amirauté commençaient par ... vorhersagebereich (prévision météo), évidemment essentielle pour des marins. Enfin, ils constatèrent que le mot EINS était le plus fréquent dans les messages, ce qui simplifia l'heuristique, dans nombre de cas. En particulier, les 105 456 codages de EINS par la machine à trois tambours, correspondant à toutes les positions initiales possibles des tambours furent tabulés : à la main![4], de façon à restreindre l'heuristique de recherche, une fois le mot EINS repéré dans le texte codé.

Des subtilités électromécaniques (substitution par paires des lettres de la machine finale de l'amirauté), donc des difficultés mathématiques, rendirent le déchiffrage impossible par les Polonais, faute de moyens, dès 1939, et les Polonais passèrent toutes leurs informations aux Anglais, y compris les copies des machines fabriquées par eux. Les Anglais, au premier rang desquels A. Turing prirent le relais (au sens littéral!). A Bletchley Park où était regroupée la fine fleur de la cryptologie anglaise Turing put établir un certain nombre de règles portant sur les chaînes de caractères générés par ENIGMA, un peu comme certaines relations relient les couleurs des petits carrés du cube de Rübik au fil des mouvements. A partir de ces relations, et de la connaissance d'un mot, ou la reconnaissance des lettres les plus fréquentes (e), Turing et ses collaborateurs parvinrent à réduire l'arborescence de recherche permettant de trouver le circuit à travers les tambours ayant effectué le "mélange", et à produire une méthode de déchiffrement pour chaque nouveau code (les tambours étaient tournés au moins une fois par mois, au début, puis tous les jours). La résolution mettait en oeuvre une machine (Bombe, des polonais, puis super Bombe et Colossus en Angleterre), mais de nombreuses opérations (collecte des messages, traitement des messsages intercepétés entre diverses armes, etc.) demandaient beaucoup de main d'oeuvre. L'ensemble du personnel de Bletchley Park se montait à sept mille personnes.

Tout ceci montre que le décryptage d'une code de permutations de ce genre nécessite plusieurs ingrédients : une intelligence extrême de quelques individus, une intelligence collective de ces équipes, qui dépasse celle d'un individu unique, le recours à des astuces d'exception ou des intuitions pataphysiques qui sont le pendant pataphysicien du comportement des codeurs de la partie adverse. Un peu de behaviourisme de salle de garde a

contribué au décodage de ces codes, avec des conséquences non négligeables sur le cours de la guerre, donc celui de l'humanité toute entière (on estime que le crackage de ENIGMA a raccourci la guerre d'au moins un an).

Après la guerre, Alan Turing fut modestement décoré pour ses contributions. Retourné à la vie civile, il se lança dans la construction des ordinateurs. Son propre projet ne fut pas mené à bien, mais il rejoignit l'équipe de Newmann à Cambridge qui construisit effectivement un des premiers ordinateurs civils. Les mathématiciens Polonais eurent un sort moins glorieux. Zygalski resta en Angleterre, où il fit une carrière de professeur de mathématiques au Battersea Technical College, Rejewsky devint employé de bureau en Pologne, après la guerre, Rozycki disparut en mer pendant la guerre [3].

LA MACHINE A PENSER

Alan Turing est l'auteur de plusieurs travaux célèbres sur la "machine universelle"[1,2,5], la machine programmable manipulant des symboles et utilisant une bande magnétique comme support-mémoire. Il a lui-même prédit, à plusieurs reprises, l'avènement de machines pensantes. Ses théorèmes démontrent qu'une machine disposant d'un temps infini, d'un ruban magnétique infini et d'une table d'actions élémentaires programmables peut simuler toute autre machine à calcul de n'importe quel type (discret). Turing a extrapolé l'idée d'une "machine universelle" à la fabrication d'un ordinateur pensant. Le pré-requis pour forger une pensée avec de telles machines est, bien entendu, que le cerveau soit une sorte de machine à calcul programmée. Conscient d'un grand nombre de difficultés, Turing a élaboré des variantes au modèle initial de machine universelle, qui souvent, sont tombées dans l'oubli[6] et ont été réinventées après sa mort, comme par exemple les réseaux de neurones. En effet, il avait reconnu le caractère auto-organisé du cerveau, et il avait introduit des machines moins rigides en termes de tables d'action que les machines de Turing[2]. Ces machines apprennent "elles-mêmes" leurs actions élémentaires. De façon lancinante, les travaux de Turing, et ceux de ses successeurs portent sur la recherche de la bonne voie pour parvenir à simuler (reproduire artificiellement) la pensée humaine

La question de l'intelligence artificielle, et, plus profondément, de l'humanité artificielle est évidemment encore très loin d'être résolue. Elle pose des questions de définition si profondes qu'on ne peut, en quelques paragraphes, effleurer que la surface des choses.

En tant que machine, le cerveau est un mélange très "évolué" d'architecture et de dynamique. En quelques mots, chacun sait que le cerveau est une ensemble d'arborisations

très imbriquées (les neurones) ayant une structure hiérarchique très complexe, et sans plan d'ensemble sinon celui hérité de l'évolution (pas de déterminisme *a priori* de la construction), les neurones forment des connexions, des faisceaux de connexions, des plans de connexions repliés, qui semblent permettre, ou en tout cas être liés à leurs aptitudes-mêmes. Les plis, les connexions ("noyaux") aux échelles intermédiaires, sont le fruit de l'évolution, et des possibilités inhérentes aux forces biomécaniques établissant la forme cérébrale. Par exemple : la forme de la boîte crânienne joue un rôle dans la structure des plis, l'orientation de la construction des embryons dans le sens queue=>tête joue un rôle dans l'organisation des structures cérébrales.

Certaines cellules nerveuses ou groupes de cellules forment des catalogues de motifs utilisés comme banques de données, d'autres exécutent des opérations de mise en coïncidence d'informations qui aboutissent à notre activité; c'est cela penser, sinon être. L'exemple type de catalogue de motifs est constitué par le câblage des neurones visuels qui prédéterminent la vision d'un segment dans l'espace. Si un barreau noir apparaît dans le champ visuel, suivant une certaine orientation, il est immédiatement reconnu comme tel par le cerveau, car toutes les cellules de la rétine située en face de l'image rétinienne du barreau noir sont associées par leur arborisation à un domaine unique du cortex visuel. Cependant, la perception de la présence d'un objet, d'un son ou d'une odeur s'accompagne d'une association avec des sentiments : agréable, désagréable, utile, comestible etc., qui sont en général évoqués par des centres cérébraux situés ailleurs que dans le centre de perception, ces centres semblent manipuler des affects de la même façon que les autres manipulent des stimuli, bien qu'il n'y ait plus, alors, de support matériel.

Un point qui revient souvent concerne le calcul. L'intelligence est-elle caractérisée par l'aptitude au calcul? Cette question ouvre plusieurs pistes: pour certains types de calcul, le cerveau n'est pas spécialement bon, mais pour certains autres, il opère très rapidement (*cf*, le ping-pong) ou bien très qualitativement (*cf* les échecs). Les performances les plus spectaculaires (virtuosité) ou les plus sentimentales (amour) de la pensée, sont-elles une forme déguisée de calcul? Pour ce qui est du calcul au sens arithmétique, le cerveau n'est pas très doué, bien qu'il soit capable, si on lui en donne le temps, d'un calcul *ad infinitum*. Il n'y a pas de limite à la dimension des chiffres qu'un cerveau peu additionner ou multiplier, si on lui laisse le temps, *et* si on le munit d'un support matériel (tableau, papier). Pour ce type d'opération, le cerveau peut fonctionner en mode automatique, et appliquer de façon itérative ou récursive, une règle simple, conduisant au résultat, comme le fait un ordinateur. Les théorèmes de Turing portent justement sur des calculs de type récursifs, ceux que nous faisons

avec un papier et un crayon. Dans son esprit, la "machine de Turing" était aussi bien un homme effectuant le calcul. Il n'est pas étonnant que les ordinateurs aient assez bien réussi dans le domaine du calcul arithmétique. Cependant, l'homme effectue également des calculs sur ou autour d'assertions portant des quantificateurs du type "il existe un nombre vérifiant telle propriété". Ces propositions exigent des capacités d'abstraction qui dépassent massivement les ordinateurs actuels.

Ainsi, c'est lorsque les hommes font des additions ou des multiplications, qu'ils se comportent le plus comme des ordinateurs. Pour Turing, toute les aptitudes humaines sont réductibles à des séries d'opérations élémentaires sur des nombres finis de symboles qu'on écrit quelque part (dans une mémoire ou sur un papier) et qu'on réemploi au fur et à mesure que le raisonnement avance. Comme Turing a par ailleurs montré qu'une machine disposant d'un ruban infini et d'une table d'action programmable peut faire le même travail que toute machine finie fonctionnant avec des tables d'actions élémentaires, l'hypothèse précédente implique que le cerveau peut être modélisé par un ordinateur suffisamment grand. Ces affirmations font l'objet, on s'en doute, d'une épaisse bibliographie de contradicteurs.

Une chose sera ici tenue pour certaine, les aptitudes mentales humaines sont le fruit d'une activité électro-chimique (plutôt iono-chimique) se produisant à l'intérieur de la tête, dans un organe qui est le cerveau, et ses dépendances.

En règle générale, l'intelligence artificielle ou les neurosciences computationnelles reconnaissent la modestie de leurs résultats, et la prédiction de Turing ne s'est pas réalisée. L'objectif à très long terme reste la réalisation d'une pensée autonome semblable à celle de l'homme, mais par des moyens technologiques "tout-solide", que fournira l'industrie de l'électronique. Turing en était convaincu. Il semble parfois acquis dans cette discipline, bien que les preuves du contraire abondent, que la technique permettra une énorme économie de moyens, et qu'on n'aura pas à réaliser un cerveau *en tant que tel*. Bien des chercheurs, et surtout les biologistes, considèrent cet objectif comme un égarement futile, et pensent que le cerveau est un objet biologique issu d'une évolution, inimitable en raison de sa structure biologique, et qu'on ne saurait faire une machine pensante qui ne serait pas incarnée dans un substrat matériel comparable à la matière neuronale.

Turing, le premier a exploré certaines voies ou arguments de la contradiction, et a proposé des idées alternatives aux machines qui portent son nom. Le courant de pensée issu de ses travaux admet qu'une machine "presque" universelle (nécessairement finie) n'a pas besoin d'un support biologique pour produire une pensée. Si toute forme de pensée est calculable, alors, une machine universelle suffisamment rapide parviendra à penser, le cas

échéant par un chemin très détourné de celui du cerveau. Des éléments de hasard, d'environnement, d'irrationnel, peuvent éventuellement être ajoutés à la machine, si nécessaire.

Parmi les partisans de l'intelligence artificielle, on trouvera aujourd'hui ceux qui pensent qu'on parviendra à imiter l'intelligence à l'aide de machines fonctionnant sur des principes proches de ceux des ordinateurs actuels (avec de grosses mémoires, des vitesses très rapides d'exécution des opérations, et des algorithmes évolués). Il y a ceux qui pensent qu'il convient d'imiter dans une certaine mesure le fonctionnement des cerveaux (simulation des connexions nerveuses par ce qu'on appelle des réseaux de neurones, des machines auto-organisées). Pour ceux-là, l'intelligence artificielle ne consiste pas à simuler un cerveau, ni à fabriquer un super PC pensant comme un homme, mais à imiter certains traits de l'organisation neuronale, pour en extraire une substantifique souplesse de fonctionnement qui semble absente des machines à entrées-sorties séquentielles (Machines de Turing). Comme on l'a dit, Turing lui-même avait déjà proposé des systèmes de connexion adaptables semblables aux réseaux de neurones.

Il convient de citer deux autres catégories de personnes, d'une part les scientifiques qui pensent qu'il faut un élément extérieur irrationnel par essence non-calculable (correspondant à ce que Alan Turing appelait un "oracle") permettant de dépasser un certain nombre de limites des machines, qui ne semblent pas troubler l'homme. Cet "oracle" est un élément irrationnel proche d'une "intuition". L'origine, ou la nécessité logique de ces "oracles" est dans le fait qu'un certain nombre de problèmes sont connus pour ne pas être calculables; par ailleurs, tout système formel est limité par le théorème de Gödel qui suppose l'existence de propositions indémontrables à l'intérieur du système. Or, chacun reconnaît que l'homme est capable de considérer le théorème de Gödel, en quelque sorte de l'extérieur, et contemple sans embarras les impossibilités logiques impliquées par le théorème, qu'il lève aussitôt par l'exercice de son libre arbitre. Les apories, en quelque sorte, n'empêchent pas l'homme de penser.

L'oracle est, dans la pensée de Turing, une réponse pragmatique à un problème non calculable. Certes, certains problèmes ne sont pas calculables, ils ne sont pas pour autant sans solution; quand aux limites du théorème de Gödel, un choix arbitraire crée de facto un nouveau système de propositions logiques. Par conséquent, il suffit de disposer d'un tableau de réponses, sans calcul, aux questions non calculables, pour améliorer toute machine universelle qui aurait à rencontrer ce type de problèmes.

Citons enfin les artistes (surtout cinéastes) pour qui, en général, la pensée survient d'un coup, dans un machine suffisamment complexe, à l'occasion d'un événement fortuit (tasse de

café renversée sur le clavier, branchement d'un nouveau point de réseau internet etc.), cette vision artistique correspond à ce qu'on appelle en science un comportement "émergent", elle permet d'avantageux procédé de scénario. Quoique à bien des égards fantaisiste, cette idée est relativement répandue, même chez les scientifiques. Il est à noter que la machine pensante survenant ainsi fortuitement est en général animée d'intentions hostiles, et cherche par tous les moyens à nuire aux humains. Le comportement émergent a une connotation divine et se rapproche de la quête ponctualiste du "premier homme" en paléontologie humaine (par opposition au gradualisme).

Depuis Turing, de nombreux chercheurs ont produit des comparaisons entre la pensée humaine et les machines, en termes de données brutes : capacité de stockage et vitesse de traitement. Turing lui-même est resté célèbre pour une prédiction : les ordinateurs atteindront les capacités de la pensée humaine en 2000 (il a ensuite prédit plutôt 2050, prédiction énoncée en 1952).

Certaines données brutes basées sur l'amélioration constante des micro-processeurs, plaident en faveur d'un accroissement exponentiel des capacités des ordinateurs (loi de Moore[11]), et donc d'un avenir prochain où les capacités cognitives du cerveau seront atteintes, voire dépassées. Il n'est à vrai dire pas impossible que la masse actuelle de capacité de calcul disponible sur terre soit déjà, sur le papier, supérieure à celle d'un cerveau. En assemblant correctement tous les ordinateurs disponibles, il paraît plausible qu'on puisse produire une âme. Le véritable problème tient non pas à la capacité individuelle des éléments, ni encore moins à la vitesse de traitement de l'information, mais bien à l'architecture des éléments, et à la circulation de la pensée sur cette architecture ("cinématique mentale"). Il est à espérer pour les partisans de l'intelligence artificielle que cette architecture puisse être modélisée par des moyens artificiels ("in silico") qui évitent la reproduction à l'identique d 'un cerveau. En effet, la construction cérébrale est d'une toute ou autre nature que les techniques de lithographies planaires utilisées pour fabriquer aujourd'hui des ordinateurs (héritées de la sérigraphie). Elle est évidemment encore plus éloignée des systèmes de tambours, relais, ampoules ou cartes perforées dont disposait Turing.

En sérigraphie, (l'équivalent de la technique actuelle de fabrication des composants électroniques) des motifs appliqués sur des cadres sont reportés successivement les uns sur les autres pour former un dessin à plusieurs couleurs. Des techniques semblables sont utilisées dans l'industrie électronique pour reporter sur de petits composants les zones conductrices et

[11] D. Moore, PDG d'Intel, s'était aperçu vers 1980 que la capacité de stockage des microprocesseurs doublait environ tous les 18 mois. C'est toujours le cas.

les zones isolantes établissant le tracé des connexions électroniques du composant. Les propriétés matérielles des matériaux employés (métaux/silicium/oxydes/polymères) déterminent les vitesses de propagations des signaux dans ces circuits, de l'ordre d'une fraction de la vitesse de la lumière.

Le mécanisme de connexion du cerveau est d'une toute autre nature; des centres (soma) reliant des filaments (axones, dendrites neuronales) en très grand nombre (jusqu'à cent mille pour un neurone unique) sont émis en couches par divisions cellulaires. Les cellules migrent pour se positionner en certains endroits déterminés, croit-on, par des cartes biochimiques prénatales (gènes de la morphogenèse), mais qui incluent également des contraintes mécaniques de toutes sortes. Les filaments projettent entre eux des connexions à travers toutes les couches, et au-delà vers les organes. Ces connexions sont microscopiques, et capables d'explorer le paysage de filaments, à 3D, pour aller se connecter au bon endroit. L'"outil" de fabrication des neurones n'est pas un cadre de sérigraphie insolant tout le système d'un coup, mais un cône de croissance qui est à l'échelle des filaments individuels et permet à chaque neurone de se faufiler dans des chas d'aiguille. Ainsi, chaque neurone est positionné individuellement par les cônes de croissance à travers tous les autres, et collectivement par les cartes biochimiques, les contraintes mécaniques, les conditions aux limites (forme du crâne par ex.). Pour couronner le tout, le paysage final de connexions, extrêmement imbriqué, est le résultat d'un énorme élagage qui a lieu *in situ* : des connexions sont établies tous azimuts, puis progressivement éliminées, au fil de l'apprentissage, ou simplement, du fonctionnement, de façon à ce que l'arborescence de connexion finale soit optimisée pour (ou en tout cas, qu'elle permette/) une activité cérébrale donnée. Evidemment, cette description très sommaire doit encore mentionner le fonctionnement-même de ces filaments : des ondes de dépolarisation électrique se propagent le long des filaments, dans les deux sens, se regroupant parfois au centre (coïncidence d'ondes de dépolarisation), ce qui déclenche de nouvelles ondes allant ailleurs. Ces ondes se propagent à 3D le long de ces microscopiques filaments, un peu comme les ondes électriques se propagent à la surface du coeur.

Une modélisation simple de ces neurones consiste à réduire leur fonctionnement à des connexions virtuelles (simulées par ordinateur) entre extrémités permettant le déclenchement instantané d'un potentiel d'action (le changement de la valeur d'un nombre dans un registre) si une certaine condition sur la somme des états des extrémités ("entrées") est satisfaite (par exemple, si 5 extrémités sur dix reçoivent une instruction 1, alors le neurone émet un zéro instantanément en sortie vers d'autres neurones. On peut affecter des poids non–égaux aux différentes extrémités, qu'on appellera alors, l'abus de langage étant le trait le plus frappant

dans ce domaine, des poids ou coefficients synaptiques. Des connexions plus ou moins fortes seront associées à des coefficients plus ou moins grands. Ce modèle (le perceptron[7]) est censé modéliser les neurones, ou plutôt un idéal de neurone. Adapter un neurone, lui faire apprendre quelque chose, c'est trouver les coefficients du perceptron, connaissant le résultat que doit fournir en sortie le perceptron pour certaines entrées (au fil des exemples qu'on "lui" présente, le perceptron acquiert de l'expérience, et se corrige par un algorithme inverse). Ces modèles sont récents, et bien postérieurs à l'oeuvre de Turing. Pourtant, Turing les avait anticipés, dans des travaux restés méconnus sur les "unorganized machines", qui commencent à être étudiés par les historiens des sciences. Il va sans dire que les modèles de réseaux de neurones simulent assez médiocrement le neurone réel, dans sa phase de fonctionnement, et absolument pas le neurone réel dans sa phase d'apprentissage (ce qui est sans doute le point le plus critiquable).

Ces modèles n'ont pas fourni de résultats très supérieurs aux autres approches. Ils remplacent la propagation (relativement lente) des ondes synaptiques, et les mécanismes de coïncidence par des basculements en tout ou rien d'interrupteurs électroniques; en outre, l'apprentissage est effectué par des opérations mathématiques habituelles du type résolution d'équations linéaires à plusieurs inconnues. En tout état de cause, les modèles à réseaux de neurones sont, en principe, équivalents à une machine universelle classique (avec table d'entrées/sorties programmable).

L'espoir, cependant, est que le problème de la pensée ne soit qu'une question de taille, de masse de connexion, après tout, l'intelligence semble venir aux humains avec l'accroissement de la taille du cerveau. En mettant en oeuvre quelques milliards de neurones-numériques, ayant chacun quelques milliers ou dizaines de milliers de connexion, "on va y arriver".

Ce projet semble à la fois ambitieux et chimérique pour les raisons suivantes : la dimension des problèmes mathématiques rencontrés croît immensément vite avec le nombre de connexions. Or, de deux choses l'une, ou bien l'on simule le "cerveau" sur un ordinateur classique ou bien on construit effectivement des réseaux de neurones câblés comme "le vrai". Dans le premier cas, les synapses sont rangés dans des matrices comme les points de l'espace et le calcul des poids synaptiques (apprentissage) comme le calcul de la sortie à partir des entrées (fonctionnement) fait appel à l'algèbre matricielle, avec des matrices dont les dimensions explosent toute possibilité de calcul, ou bien il faut effectivement construire les connexions comme des réseaux de neurones, et on se heurte au problème de l'architecture

planaire des techniques de lithographie : on ne peut pas connecter ou déconnecter des points très petits à travers des milliards d'autres.

Dans le fonctionnement des ordinateurs issus de la technologie planaire, les additions, comme les conditions de la forme si s>seuil sont des portes logiques agissant sur des courants, qui aboutissent à des états électroniques inscrits en lignes et colonnes sur des tables. Le fonctionnement de l'ordinateur consiste pour une large part à courir dans les dédales bi-dimensionnels de ces portes logiques, qui s'ouvrent et se ferment à des cadences élevées (quelques gigahertz : quelques milliards d'opérations par seconde). Ce type de course effreinée n'est pas sans rappeler la rotation des tambours de ENIGMA, à la recherche de la bonne coïncidence. La bonne coïncidence, elle, est câblée directement par les fils qui courent à travers les tambours. De même que les fils qui passent d'un tambour à l'autre dans ENIGMA, les neurones mettent directement en contact les données pertinentes entre elles.

Les ondes de dépolarisation qui se propagent à la surface des neurones ne calculent pas les valeurs des potentiels dans un espace mathématique algébrique matriciel. La valeur de la somme des extrémités, telle qu'elle arrive, par exemple, au soma du neurone n'est pas obtenue en allant chercher dans un répertoire les valeurs de toutes les extrémités, puis en faisant l'opération électronique consistant à sommer les bits des valeurs trouvées dans chaque espace mémoire, puis en ramenant à l'emplacement du répertoire "soma" le résultat de l'opération. Ces valeurs sont obtenues en laissant les ondes parties des extrémités converger au centre en remontant strictement l'espace des filaments qui les occupe, et rien d'autre, certes lentement (100m/s pour une onde classique, à comparer à la vitesse de la lumière pour les champs électriques). Ainsi, s'il faut chercher quelque part le secret de la pensée, il est sans doute dans le fait que la dynamique mentale se propage sur des arbres, et non sur des tables (matrices, processeur, entrées sorties séquentielle, ou tout ce qu'on voudra), de même que les fils électriques de ENIGMA connectent les entrées et les sorties directement, sans passer par toutes les combinaisons des tambours.

Les ondes qui se propagent dans les neurones dépassent (ou pas) les valeurs-seuils de déclenchement d'un potentiel neuronal d'action sans qu'il soit besoin d'opérer électroniquement une comparaison logique entre les valeurs de ces entrées et tout ou partie des autres dans le cerveau.

La circulation des champs électriques physiques est à la vitesse de la lumière (soit trois millions de fois plus rapide que l'influx nerveux), et le basculement des portes logiques, dans les ordinateurs (renversement d'un bit) est de l'ordre du milliardième de seconde; à 100m/sec, une dendrite de 1mm (taille typique) bascule en un dix millième de seconde, ce qui semble

très mauvais, presque nul en comparaison. Cependant, dans un espace de connectivité ou le nombre de points est de l'ordre du milliard, l'exploration séquentielle des tableaux de connectivité associés (comme dans un ordinateur ordinaire), et l'inversion des matrices correspondantes (pour par exemple adapter les neurones) devient prohibitif. Cette recherche séquentielle dans l'espace des états est ce qui tue le rêve d'un ordinateur pensant. Elle était déjà présente dans les premiers travaux de Turing, où l'information est stockée sur un ruban : il n'y a rien de plus mauvais. La quantité d'aller et retours nécessaires sur un ruban pour imiter des calculs de coïncidence sur des arbres est ce qui rend l'ordinateur pensant chimérique, de même que le décryptage de ENIGMA prend énormément plus de temps que le codage d'un message.

On parvient aujourd'hui, avec les plus grandes difficultés, et les plus gros ordinateurs, à simuler la propagation d'une onde à la surface d'un volume sphéroïdal représentant le coeur[12], nul ne peut modéliser la propagation d'une onde de dépolarisation à la surface d'un modèle 3D de neurone, comportant un nombre réaliste de dendrites. Les temps de calculs pour résoudre les équations de propagation de l'onde de dépolarisation sur une surface tubulaire d'un seul neurone, ayant des branches en tous sens à 3D sont infiniment supérieurs au temps mis par ces ondes de dépolarisation pour se propager dans le système réel. Le type de problèmes rencontrés est un peu semblable au problème de la modélisation de la météo. Comme chacun sait, le temps ne peut pas être calculé avec précision, en raison de la difficulté à discrétiser les équations de l'hydrodynamique et des changements d'état de l'eau sur un maillage suffisamment serré de points à la surface de la Terre. Le cas de la cinétique mentale est bien plus ardu puisque le support des équations n'est pas une sphère, comme la Terre, mais un enchevêtrement de milliards d'arbres, sur lesquels se propagent des vents de pensée à 100m/s. La difficulté des simulations est, en gros, dans le rapport des vitesses typiques (soit 360 km/h pour l'influx nerveux, et de l'ordre de 10km/h pour un vent ordinaire) multiplié par le rapport du nombre typique de points de calcul (sur la terre, à l'heure actuelle, le maximum de nombre de points de calcul est de l'ordre de dix mille). En résumé, les ordinateurs les plus puissants, mis au service de la météo, ont une puissance de calcul qui est le centième de ce qu'il faudrait pour traiter un neurone unique. Avec ça, on doit pouvoir simuler l'intelligence d'une amibe.

[12]Ces travaux, sans rapport avec les neuro-sciences ont pour vocation d 'étudier l'infarctus du myocarde.

En revanche, cela n'exclut pas, *par principe*, qu'un algorithme accédant séquentiellement aux états électriques, ne puisse penser.

Pour résumer cette explication, et le lien avec la machine de Turing : la machine Universelle de Turing, comme les ordinateurs actuels, stockent et recherchent les données dans des mémoires qui sont des tableaux ou des rubans de données, la recherche suppose de lire toutes les données, pour retrouver une "adresse". Ces stockages, temporaires ou permanents, ressemblent un peu à de gros annuaires, avec des séries de caractères. Le fonctionnement d'un neurone *réel* met en coïncidence les caractères de cet annuaire directement à travers l'épaisseur des pages, par l'intermédiaire des filaments neuronaux. Pour prendre un exemple concret, dans un annuaire d'environ cinq centimètres d'épaisseur, composé de mille pages de 5/1000 de cms, il faut propager une onde de pensée sur cinq centimètres pour mettre en coïncidence le mot Bière et le mot Zythum le long d'un filament neuronal, ce qui prend un temps 0.05m/100=5/1000èmes de secondes; cependant, une recherche séquentielle des mots dans l'annuaire requiert un trajet de l'ordre de 2000 fois la longueur de texte présente dans une page; or la longueur de texte par page est d'environ 5000 caractères (dans un annuaire). Le nombre d'opérations logiques pour mettre en coïncidence Bière et Zythum sera de l'ordre de 10 000 000 (dix millions) multiplié par les opérations de comparaison des caractères soit de l'ordre de cent millions d'opérations logiques. A raison de 1 Giga hertz (un milliard d'opérations par seconde), on voit que ce temps est de l'ordre de 1/10ème de seconde (c'est aussi le temps typique d'une réponse sur un moteur de recherche comme Google). Ainsi, les aptitudes apparemment lumineuses des ordinateurs ne se comparent pas si favorablement à celles du cerveau, dès qu'on prend en compte l'architecture. Or cette architecture n'est pas techniquement reproductible.

Ainsi, Turing a contribué de façon presque fantastique à l'émergence de l'ordinateur, ce qui a, dans le même temps, fait naître une masse de travaux scientifiques et d'oeuvres de fiction mettant en opposition, ou en perspective, la pensée humaine et les aptitudes des ordinateurs. Les performances des ordinateurs dans les domaines où l'homme excelle peu, agissent comme un trompe l'oeil, qui empêche de voir les limites objectives de ces machines, et, a rebours, les excès de leur père putatif, attribuables à l'enthousiasme inhérent à toute technique naissante. Il ne fait guère de doute que l'euphorie suscitée par des expressions comme "intelligence artificielle" ou "neurosciences computationnelles" ou bien encore "ordinateur quantique" dépasse de loin ce qui est vraiment donné à voir : le secret de la pensée humaine est loin d'être percé. Il est intéressant de noter que l'ordinateur n'est qu'une extrapolation électronique d'un systèmes de tambours motorisés, lui-même hérité d'un

cyclomètre conçu par les Polonais pour éviter de tourner les tambours à la main. Le fondement de l'informatique se rapproche donc remarquablement de la description par Descartes d'un cerveau fonctionnant avec des poulies!

LE TEST DE TURING

Evoquant les travaux d'Alan Turing en matière de "machines pensantes", il convient d'aborder le fameux test de Turing. Proposé en 1950, le test de Turing est un *sévice* ou à tout le moins une sorte de bizuthage infligé à une machine se prétendant pensante, pour déterminer *si on peut dire* qu'elle pense comme un humain. Le test de Turing fut publié dans une revue de philosophie[8]. A l'époque, l'intelligence artificielle était en gestation et l'on pouvait publier des articles dont la hauteur de vue était stratosphérique, ce qui est un peu le cas de l'article de Turing, et à vrai dire, sa caractéristique générale. Le titre de cet article était : "Computing machinery and Intelligence", qu'on pourrait traduire par "La machine à calculer et l'intelligence". L'article lui-même est succulent, et le parfum frivole dont il est nimbé s'évente beaucoup à l'analyse.

Les travaux de Turing l'ayant conduit sur la voie d'une machine universelle, donc potentiellement pensante, la question de la définition de l'intelligence humaine se posa. Adoptant une attitude behaviouriste, Turing proposa qu'une machine serait dite pensant comme un humain, si on ne pouvait guère la distinguer d'un humain pensant. Pour préciser la façon de procéder, Alan Turing, détermine l'intelligence de telles machines à travers le jeu de l'imitation. Le jeu consiste à désigner un juge, à enfermer la machine dans un réduit, et à lui poser des questions au travers d'un clavier ou de tout autre dispositif neutre. La machine doit "faire semblant" d'être un humain. Le juge doit dire si les réponses lui paraissent humaines ou pas.

L'article paraît, répétons-le, en 1950. Or, Alan Turing est arrêté en 1952 pour avoir eu des rapports sexuels avec un jeune homme. Il est poursuivi, interrogé, puis condamné à subir des injections d'œstrogènes, supposées réduire sa libido, ou la "normaliser". La condamnation infligée à ce grand esprit horrifie tout honnête homme contemporain.

A titre d'exercice intellectuel, supposons qu'Alan Turing ait été emprisonné en 1950, et que son article sur l'intelligence des machines soit paru en 1952. Cette simple inversion de dates (1950↔1952) provoque un retournement complet de l'analyse du fameux test de Turing. Comment se retournement s'opère-t-il? Le test de Turing commence par un exemple visant à déterminer non pas si une machine est intelligente ou pas, mais si un être humain est *homme*

ou *femme*. Ainsi, on doit, selon Turing, placer un homme et une femme dans une pièce fermée, et leur poser des questions jusqu'à pouvoir affirmer A est la femme et B est l'homme. A et B sont supposés tromper leur juge. Mais, Turing était homosexuel. Le problème d'identification du genre était son problème à lui : il n'était pas d'un genre défini par les canons de la société de son temps. Enfermé dans une pièce, et répondant à des questions, qu'aurait-il répondu? Qu'auraient pensé les interlocuteurs? Il faut préciser que le test de Turing (s'agissant d'un test du genre comme d'un test d'intelligence) suppose que l'homme, dans le premier cas, la machine dans le second, trompe constamment, ou essaie de tromper l'interlocuteur. Turing appelle son test le Jeu de l'Imitation. Or, quoi de plus enfoui dans Alan Turing, que le fait de faire constamment semblant, de dresser des paravents entre lui et les autres, entre lui et sa mère, lui et les militaires, etc.

Fictionnalisons un peu ce paragraphe: nous voici en 1952 (1950?) Alan Turing répondant à la police, la police le questionnant sur ses mœurs, et lui, répondant à la police. Quel étrange parallèle avec le test de Turing, Turing subissant le test dont il porte le nom! Ainsi le test de Turing s'apparente à un interrogatoire de police. On est enfermé, on doit répondre; derrière la vitre sans tain, le *profiler* est là qui veut savoir si vous êtes une machine ou un homme, un homosexuel *ou un homme?* Qu'allez vous faire? Le test de Turing suppose : faire semblant d'être un homme : qui fait assez bien semblant, gagne le droit d'être un homme. On comprend qu'en 1950, un homosexuel ait eu à faire semblant. Mais alors, retournons l'argument : peut-on penser que la meilleure discrimination (si l'on ose dire) soit celle de la police? L'interrogatoire de police constitue-t-il la meilleure démonstration d'intelligece?

L'homosexualité constituait un délit en 1950, en Angleterre. L'intelligence des ordinateurs, dans l'esprit de Turing, était-elle un crime? Elle était au moins subversive, il l'a écrit en ces termes : *hérétique*. Mais continuons l'analogie : quel sens faut-il donner à un interrogatoire de police interrogeant un Alan Turing pour savoir s'il est un homme ou une femme, quand, au vrai, il est homosexuel? Cela tombe, disons, à plat. L'humain policier, posant les questions policières, ne pourra au mieux, que déterminer une vérité par rapport à l'état de la loi. L'état de l'humain, dans la cage, brise, ou en tout cas secoue la distinction homme/femme (ne parle-t-on pas de 3ème sexe?).

Cette vision policière de l'informaticien, tirant les vers du nez de la machine ou de l'homosexuel par un interrogatoire, est très inquiétante. On commente rarement, dans le test de Turing, le rôle de celui qui prépare l'expérience, du "juge". Celui qui enferme les machines pensantes dans une pièce est considéré comme hors jeu, et n'y a rien à en dire, tout lui est permis, et les machines sont supposées consentir à cet exercice. C'est un des ressorts du film

Blade Runner (tiré du livre "Do androids dream of electric sheep", de Phillip K. Dick), où Harrison Ford pose des questions à la répliquante, au point que c'est son humanité à lui qui vacille. Dans ce film, le test de Turing porte le nom de test de Voigt-Kempf, et Harrison Ford pose des questions *très très* personnelles à la répliquante, qui fait de la résistance au test même. Dans la conception du scénariste, le "mauvais esprit" de la répliquante est consubstantiel de son humanité.

Combien de chercheurs commentent le test de Turing sans suggérer la seule réponse valable de la part d'un humain digne de ce nom: "allez vous faire voir", qui est en gros la réponse de la répliquante dans Blade Runner, après quelques questions tendancieuses[13]. Il fallait un esprit sérieusement névrosé (en l'occurrence par un problème de dissimulation) pour inventer un test de cette nature.

Mais puisque nous avons choisi d'inverser les dates, faisons la déduction logique de cette inversion : le test de Turing est une farce. Turing, homosexuel, sait bien qu'il y a dans l'homme des choses indéfinissables, ou ineffables, et dont un interrogatoire de police ne viendra pas à bout. Puisqu'on le torture avec cela, et puisqu'il y a des hommes pour réduire l'humain à une série de questions, alors il invente le test de Turing. Que prouve le test de Turing : il prouve qu'il y a plus d'humain dans l'homme et la femme, dans l'homme et dans la future machine intelligente(?), que dans celui qui pose les questions, car celui qui pense arriver à une conclusion définitive en posant pareilles questions est un bourreau, et donc moins humain que son cobaye. Turing, avec son test, fait la brillante démonstration de la supériorité de l'homme-victime sur l'homme-bourreau. Et, avec infiniment de subtilité, il instille les attributs les plus humains : fantaisie, perversion, double jeu, apories, dans la matière même de l'informatique supposée formelle et logique. Ce qui surprend, dans le test de Turing, c'est la fascination presque hypnotique qu'il induit. Or, il suffit de lire le texte en pensant qu'aucune machine ne sera jamais capable d'écrire un tel texte, pour comprendre l'absurdité auto-référentielle du test de Turing. Ce test n'a de valeur, que pour qui veut bien laisser Turing parler. Il n'a aucune valeur scientifique, c'est un test contrafactuel, sur un objet qui n'existe pas. Ce n'est ni une définition, ni une axiomatique, il ne contient aucune démonstration. Sur le plan scientifique, ce n'est strictement rien.

C'est néanmoins un texte. Qui a lu le test de Turing est stupéfait par le ton et la manière de cet article. Turing passe de la recherche du sexe à des arguments scientifiques des

[13] Il est a remarquer que dans le film Blade Runner, la belle (très belle) répliquante trouve les questions tellement tendancieuses qu'elle finit par demander : "Est-ce que vous êtes en train de me demander si je suis lesbienne?". On peut se demander si cette allusion est intentionnelle.

plus fantaisistes : il passe en revue des arguments, par exemple, théologiques, discutant "sans rire" le caractère hérétique d'un ordinateur pensant, pour qui croit que l'intelligence humaine est une création divine. Il présente par ailleurs avec sérieux les arguments de la télépathie et de la télékinèse, expliquant qu'il conviendrait de mettre la machine dans une pièce résistant aux transmissions télépathiques (car, selon lui : les statistiques montrent de façon écrasante la réalité de la télépathie, et, bien entendu, la télépathie risque de troubler l'expérience. Mais bien sûr). Et tout ceci passe dans le gosier des informaticiens sans qu'on s'étonne. L'article de Turing est une farce rafraîchissante, dont aucun ordinateur ne sera jamais capable. C'est en ce sens que l'article est auto-contradictoire. La preuve qu'un ordinateur ne pensera jamais comme un homme, c'est l'article écrit par un homme, sur la possibilité que les ordinateurs pensent comme des hommes.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Ainsi, la vie et l'oeuvre de Turing fascinent. Sans doute les lignes qui ont précédé ont-elles véhiculé ce sentiment de fascination, tout en l'exposant à la critique. On peut légitimement interroger cette fascination. Tout d'abord, la fascination pour Turing est le résultat d'une "élévation vers l'olympe", d'une "angélisation" de Turing, ou, pour prendre un terme contemporain, d'une sorte de starisation. Il est très frappant de constater qu'on attribue à Turing des mérites relativement supérieurs à ses contributions réelles. Si l'on observe le cas de ENIGMA, il est clair que Turing n'a pas cracké ce code tout seul sur un coin de table. Pourtant, dans l'imaginaire collectif, Turing est une sorte d'être supérieur qui aurait a lui tout seul vaincu la toute puissance maléfique nazie, incarnée par le codage. Un glissement déplace le code ENIGMA vers un attribut du mal absolu (le nazisme), tandis que Turing, à l'opposé, prend dans le champ du mythe la place d'un démiurge presque divin, ayant par sa seule pensée, et le sacrifice de sa carrière (sinon de sa vie) arrêté les forces du mal. On peut noter, que, dans un décor et une scénographie pourtant proches, il n'y a rien d'équivalent pour la fabrication de la bombe atomique. Pour le décryptage de ENIGMA, la caricature ramène une histoire longue et complexe dans laquelle de nombreux mathématiciens ont joué un rôle éminent, à un duel entre l'ange et le démon. Le démon, il est vrai, apparaît souvent sous la forme du chiffre, du code.

La starisation de l'homme procède donc d'une angélisation, d'ailleurs associée à d'autres aspects de sa vie : l'homosexualité (sorte d'indétermination du sexe), la "crucifixion" par les injections, et même les icônes chérubines : Turing est le seul savant dont, à notre connaissance, on montre des images d'adolescent nu, la verge à l'air.

Par conséquent, et si l'on admet ce phénomène, on observe que, le "mystère" ou le "secret" Turing, est un mystère qu'on complique presque intentionnellement, en refoulant les indices qui permettraient de le décrypter vers les limbes de l'inaccessible, de l'incompréhensible. Telle la carotte qui fait avancer l'âne, on repousse devant soi le mythe, perpétuellement hors d'atteinte. Une des raisons de cette élévation vers l'olympe est assez usuelle : celui qu'on ne saurait soi-même égaler, il vaut mieux lui attribuer tous les mérites; en l'élevant au rang de demi-dieu on s'évitera la comparaison.

Mais il y a, selon nous davantage. Le secret, le vrai secret de la vie de Turing, ce n'est pas l'une ou l'autre chose qui lui est advenue, c'est Turing lui-même. Andrew Hodges ne s'y est pas trompé, qui a intitulé sa biographie de Turing "Alan Turing, the enigma". Evidemment, tout un chacun, sans doute, et peut-être davantage les chercheurs eux-mêmes, aimerait en quelque sorte égaler Alan Turing. Ce qu'on sait de lui doit détenir le secret de cette réussite, la potion magique pour être Alan Turing. Or, un regard un peu négatif, ou bien plutôt, un peu *critique*, sur la vie et l'oeuvre de Turing, montre qu'en matière d'ENIGMA, sa contribution n'est pas aussi solitaire qu'on veut bien le dire, qu'en matière d'informatique le milieu qu'il fréquentait, et lui-même au premier chef, s'est beaucoup payé de mots (certes drôles, et on comprend pourquoi), que le test de Turing n'est peut-être pas grand chose d'autre qu'un travail intéressant de tranfert, enfin, il n'est pas exclu que les travaux de Turing en biologie soient complètement erronés[9]. Ainsi, il y a une exagération qui rassure, ou en tout cas, qui plaît, une exagération *naturelle*. Quel est le fondement de cette exagération?

La raison d'être de cette exagération, selon nous, est d'opacifier encore plus le mystère, de rendre inaccessible le *vrai* secret qui est celui de la vie de Turing. Cette exagération, vers la mythologie, cette transformation en saga, a pour fonction d'interdire le raisonnement pour réfouler une découverte fort simple : le *vrai* secret, c'est qu'*il n'y a pas* de secret. Il *n*'y a *pas* de secret. Sans doute peut-on *être* Turing, et sans doute d'autres seront de nouveaux Turing, occupant sa place dans le champ, la position du mathématicien génial crucifié par la société, mais il n'y a pas de recette, il n'y a pas de mode d'emploi. Pour reprendre le formalisme de la machine de Turing : il n'y a pas d'algorithme permettant de dire par avance qu'on sera Turing. L'âme humaine n'est pas mécanisable. Chercher le secret de Turing, c'est, serait, par l'étude critique, biographique, psychanalytique, épistémologique, essayer de dévoiler les ressorts de l'être-Turing. Ce serait, tout au bout de cette démarche, fabriquer un ordinateur qui émulerait Turing (ultime renversement de l'histoire : l'homme recréé par la machine qu'il a créée). *A contrario*, placer d'emblée Turing dans un inaccessible olympe, en néantifiant par avance toute tentative de le décrypter, c'est, justement, former de façon tautologique, la figure du vrai

secret : le vrai secret, c'est qu'il n'y a pas de secret. Le vrai secret, c'est qu'il n'y a rien à trouver: la vie de Turing, comme celle de tout homme, au fond, explose toutes les épures, comme dit rapidement en introduction. La vie de Turing forme cette figure de l'homme inaccessible qui prouve l'inaccessibilité de l'humain, et donc la propre valeur de chaque homme *qui ne vaut pas Turing*. La misérable machine qui n'égalera pas Turing, ni aucun d'entre nous, n'est là qu'à titre de faire-valoir.

Une conséquence logique de cette élévation de Turing est la suivante : c'est parce que Turing vaut plus que nous, que nous valons autant que Turing. La mise-au-point est faite sur Turing, mais nous sommes dans le même plan.

D'une certaine façon, la starisation, qui consiste à faire monter Turing d'une marche vers l'olympe, pour prendre acte de cette explosion de l'épure, s'explique par ces ensembles infinis, auquel on peut ajouter un ensemble arbitraire sans que leur cardinal augmente. Mais chacune d'entre nous abrite, secrètement, un tel ensemble.

Vincent Fleury est physicien, il étudie les systèmes auto-organisés, et particulièrement les premiers stades du développement des embryons. Il est l'auteur de deux essais aux éditions Flammarion : *Arbres de Pierres, la croissance fractale de la matière* (1998) et *Des pieds et des mains, genèse des formes de la nature* (2003). Il travaille à l'université de Rennes.

1. A. Hodges *Alan Turing : the enigma*, Vintage, London, 1992.

2. C. Teuscher (ed.) *Alan Turing, life and legacy of a great thinker*, Springer 2003.

3.E. Rakus-Anderson, "The Polish brains behind the breaking of the Enigma code", in *Alan Turing, life and legacy of a great thinker*, Christof Teuscher (ed.), Springer, (2003), pp 419-439.

4.T. Sale, "Alan Turing at Bletchley Park in world war II", in *Alan Turing, life and legacy of a great thinker* Christof Teuscher (ed.), pp419-439, pp 442- 462, Springer (2003).

5.A. M. Turing, "On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem", Proceedings of the London Mathematical Society, 42, (1936), pp 230-265.

6.B. J. Copeland and D. Proudfoot, "Alan Turing's forgotten ideas in computer science", Scientific American, 280, (4), (1999), pp 76-81.

7. F. Rosenblatt, "The perceptron : a probabilistic model for information storage and organization in the brain", Psychological review, 65, (1958), pp386-408.

8. A. M. Turing, "Computing machinery and intelligence", Mind, 59, 433-460, (1950).

9.A. M. Turing, "The chemical basis of morphogenesis", Philosophical Transactions of the Royal Society of London, B 737, (1953), pp37-72.

http://www.mikekemble.com/ww2/enigma.html